



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt



(10) DE 102 32 242 A1 2004.02.05

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 32 242.2

(22) Anmeldetag: 17.07.2002

(43) Offenlegungstag: 05.02.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: G02B 21/26

(71) Anmelder:

Leica Microsystems Semiconductor GmbH, 35578  
Wetzlar, DE

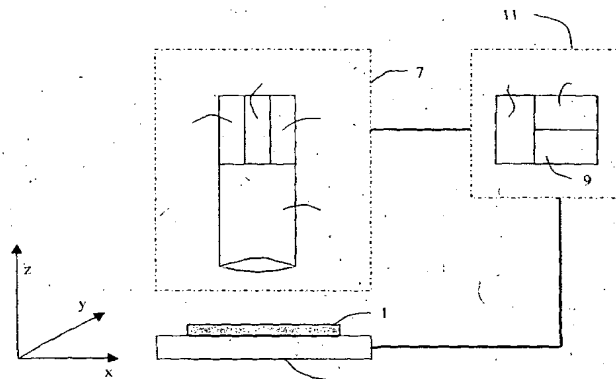
(72) Erfinder:

Sönksen, Dirk, 35641 Schöffengrund, DE;  
Mainberger, Robert, 35619 Braunfels, DE;  
Schmidt, Guenter, 35638 Leun, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zum Rastern einer Probe mit einem optischen ab Bildungssystem

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung liegt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Rastern von Proben (1) mit einem optischen Abbildungssystem (3) und einem Scanningtisch (2) zugrunde, wobei an Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  Bildaufnahmen mittels einer Kamera (4) von der Probe (1) oder/und Messungen mittels einer optischen Messeinrichtung (5) an der Probe (1) vorgenommen werden. Hierzu wird der Scanningtisch (2) durch Gewinnen und Speichern von Höhenwerten  $z$  an verschiedenen Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  des Scanningtisches (2) kalibriert und dadurch ein Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) erzeugt. Für das Rastern von Proben (1) werden mittels einer Referenzhöhe  $z_{ref}$  der Probe (1) zusammen mit dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) die Proben-Höhenpositionen  $z_p$  an den Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  ermittelt. Bereits während des Anfahrens eines jeden Probenpunktes  $x_p$ ,  $y_p$  mit dem Scanningtisch (2) wird die zugehörige Proben-Höhenposition  $z_p$  eingestellt, so dass die Abtastfehler des Scanningtisches (2) ausgeglichen sind und Bildaufnahmen oder Messungen sofort bei Erreichen des Probenpunktes  $x_p$ ,  $y_p$  möglich sind.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Rastern von Proben mit einem optischen Abbildungssystem und einem Scanningtisch, wobei an Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  Bildaufnahmen mittels einer Kamera von der Probe oder/und Messungen mittels einer optischen Messeinrichtung an der Probe vorgenommen werden.

## Stand der Technik

[0002] Die an den Probenpunkten aufgenommenen Bilder oder Messungen werden zu Inspektions- und Vermessungszwecken der Probe verwendet. Insbesondere werden in der Halbleitertechnik bei der Herstellung von integrierten Schaltungen auf Wafern Inspektions- und Vermessungssysteme mit Mikroskopen eingesetzt, mit denen Fehler und Defekte auf den Wafern erkannt und klassifiziert werden können. Hierzu werden die Wafer mit dem Scanningtisch in x- und y-Richtung verfahren. In herkömmlicher Weise wird an jedem Inspektions- oder Messort (Probenpunkt) mit einem Fokussystem in z-Richtung fokussiert und ein Bild aufgenommen oder/und eine Messung durchgeführt. Eine Fokussierung an den Probenpunkten ist unter anderem deswegen notwendig, um mechanische Fehler des Scanningtisches in z-Richtung auszugleichen.

[0003] Die mechanischen Unzulänglichkeiten des Scanningtisches verursachen Ablauffehler beim Verfahren des Scanningtisches. Die Ablauffehler werden hauptsächlich durch das eigene Gewicht und durch die Konstruktion der Lagerungen und Führungen des Scanningtisches hervorgerufen. Es werden unterschiedliche Kräfte in den Lagerungen der Tischführung auf Grund unterschiedlicher Drehmomente (zum Beispiel durch unterschiedliches Überhängen des Scanningtisches) je nach der jeweiligen x-y-Position des Scanningtisches hervorgerufen. Somit ergeben sich unterschiedliche Neigungen des Scanningtisches in Abhängigkeit von seiner x-y-Position. Dadurch ist beim Verfahren des Scanningtisches der Tischablauf ungleichmäßig, d.h. der Abstand zwischen der Oberfläche des Scanningtisches und dem optischen System variiert während des Verfahrens des Scanningtisches.

[0004] Aufgrund dieser Ablauffehler des Scanningtisches wird selbst bei ebenen Objektoberflächen das Bildfeld manuell oder mit einem Fokussystem fokussiert, um stets ein scharf gestelltes Bild für eine visuelle Beobachtung, eine Bildaufnahme mit einer Kamera oder für optische Messzwecke zur Verfügung zu haben. Jedoch ist ein solches Verfahren mit herkömmlichem Fokussieren am Beobachtungsort und anschließender Bildaufnahme oder Messung für die Anforderungen von schnellen Durchläufen mit vielen Bildaufnahme- oder Messstellen auf der Probe wegen des hohen Zeitaufwandes nachteilig. Dies gilt natürlich insbesondere, wenn eine Probe für eine

100%-Kontrolle vollständig abgescant werden soll, wie zum Beispiel bei einem Wafer zur Ermittlung und Klassifikation von Defekten oder Partikeln auf der Waferoberfläche.

[0005] In der US 6256093 wird eine on-the-fly automatische Defektklassifikation von Substraten beschrieben, bei der der Wafer zum Auffinden von Defekten mit Hilfe eines x-y-Tisches gescannt wird. Eine Laser-Lichtquelle beleuchtet den Wafer beim Scannen punktförmig. Dabei werden keine Mittel zum Fokussieren eingesetzt. Das vom Wafer gestreute Licht wird mit mindestens 2 separaten Detektoren aufgenommen und nach verschiedenen Eigenschaften wie Intensität, Linearität und Asymmetrie ausgewertet.

[0006] Aus der US 6172349 ist ein automatisch fokussierendes, hochauflösendes Mikroskop bekannt, bei dem zum Fokussieren auf einem Wafer andere Flächen innerhalb des Mikroskop-Bildfeldes herangezogen werden, als die Flächen, auf denen Messungen erfolgen. Hierzu wird während eines Set-ups jeweils innerhalb des Mikroskop-Bildfeldes diejenige Teilfläche ermittelt, bei der die Intensität während des Verfahrens in Fokusrichtung das Kriterium des größten Signal-Rausch-Verhältnisses erfüllt. Bei einer nachfolgenden Inspektion des Wafers wird nur die Lichtreflektion von diesen ermittelten Teilflächen innerhalb des jeweiligen Mikroskop-Bildfeldes genutzt, um das Mikroskop zu fokussieren. Um den Waferdurchsatz zu erhöhen, können der Mikroskoptisch kontinuierlich von Messort zum Messort verfahren und Bilder on-the-fly aufgenommen werden.

## Aufgabenstellung

[0007] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Rastern einer Probe mit einem optischen Abbildungssystem und einem Scanningtisch anzugeben, mit denen auf einfache Art und Weise die mechanischen Unzulänglichkeiten des Scanningtisches bei dessen Verfahren bezüglich des optischen Abbildungssystems ausgeglichen werden können und schnelle Scanläufe von Proben ermöglicht werden.

[0008] Die Aufgabe wird mit einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst durch folgende Schritte:

- Kalibrieren des Scanningtisches durch Gewinnen und Speichern von Höhenwerten  $z$  an verschiedenen Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  des Scanningtisches und dadurch Erzeugen eines Ablauf-Höhenprofils des Scanningtisches
- Rastern von Proben mit jeweils
- Bestimmen einer Referenzhöhe  $z_{ref}$  der Probe zu Beginn eines Probescans,
- Anfahren der Probenpunkte  $x_p$ ,  $y_p$  mit dem Scanningtisch
- Einstellen einer zum jeweiligen Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  gehörenden Proben-Höhenposition  $z_p$  während des Anfahrens des Probenpunktes  $x_p$ ,  $y_p$ , wobei die Proben-Höhenposition  $z_p$  aus der Referenzhöhe

he  $z_{\text{ref}}$  und dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches ermittelt wird und

– Aufnahmen eines Bildes oder/und Durchführen einer Messung am Probenpunkt  $x_p, y_p$ .

[0009] Zudem wird die Aufgabe gelöst durch die Merkmale des Vorrichtungsanspruchs 12.

[0010] Die Vorteile der Erfindung liegen darin, dass ein hoher Durchsatz von Proben durch das schnelle Scannen der Proben erreicht werden kann und die Probe trotzdem an jedem Probenpunkt für Bildaufnahmen oder Messungen genügend scharf eingestellt ist. Auf eine erst an den Probenpunkten durchgeführte Fokussierung wird verzichtet. Der Scanningtisch fährt bereits vor Erreichen der Probenpunkte die zugehörige Proben-Höhenposition an. Dadurch ist gewährleistet, dass bei Erreichen eines jeden Probenpunktes die Probe hierfür bereits scharf eingestellt ist. Somit kann bei Erreichen eines jeden Probenpunktes sofort ein Bild aufgenommen oder eine Messung vorgenommen werden und dadurch ein Zeitersparnis beim Scannen der Probe erreicht werden.

[0011] In einem besonderen Ausführungsbeispiel erfolgt die Bildaufnahme oder Messung on-the-fly, d.h. der Scanningtisch fährt kontinuierlich über die Probenpunkte ohne anzuhalten. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass kein zeitraubendes Abbremsen und Wiederanfahren des Scanningtisches an den Probenpunkten durchgeführt wird. Dadurch wird der Probendurchsatz zusätzlich erhöht. Natürlich müssen hierbei die Bildaufnahmen oder Messungen in entsprechend kurzer Zeit erfolgen können. Derartige Zeiten liegen je nach Anwendung und je nach Fahrgeschwindigkeit des Scanningtisches im Bereich von wenigen Millisekunden bis Mikrosekunden. Gegebenenfalls stehen Xenonblitzlampen mit entsprechend kurzen Blitzzeiten zur Verfügung.

[0012] Durch eine vorherige Kalibrierung des Scanningtisches werden dessen Ablauffehler ermittelt, also die Variation der Höhe  $z$  in Abhängigkeit der Verfahren-Position des Scanningtisches in  $x$ - und  $y$ -Richtung festgestellt. Aus den Ablauffehlern wird erfindungsgemäß ein Ablauf-Höhenprofil erstellt. Die maximalen Variationen in der Höhe  $z$  können je nach Art und Größe des Scanningtisches einige 10 bis einige 100 Mikrometer betragen.

[0013] Voraussetzung für das erfindungsgemäßen Verfahren oder die erfindungsgemäße Vorrichtung ist, dass der räumlichen Strukturen auf der Probe innerhalb der Schärfentiefe der aufnehmenden Abbildungsoptik liegen, d.h. dass die Höhenvariationen der Strukturen entsprechend klein sind.

[0014] Sind andererseits die Strukturen auf der Probe größer als die Schärfentiefe der Abbildungsoptik und sind die räumlichen Strukturen der einzelnen Proben untereinander identisch, so können diese Strukturen beispielsweise in einem Kalibrierlauf vermessen werden. Möglicherweise sind die Strukturen aber auch bereits vorbekannt und stehen als Informa-

tion in einem Speicher zur Verfügung, wie z.B. die Strukturen von Halbleiter-Wafern. Derartig bekannte oder durch Vermessung ermittelte räumliche Strukturen, die über die Schärfentiefe der Abbildungsoptik hinausgehen, können für das Scannen der identischen Proben berücksichtigt werden, indem sie zusammen mit der Kalibrierung des Scanningtisches zu einem Ablauf-Höhenprofil verbunden werden.

[0015] Die anfängliche Kalibrierung, bei der das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches ermittelt wird, kann mit unterschiedlichen Methoden und Mitteln erfolgen. So kann der Ablauf des Scanningtisches mechanisch abgetastet oder optisch, z.B. mit einem separaten Laser oder mittels einer separaten Bildverarbeitung vermessen werden. Natürlich kann auch mit der Abbildungsoptik manuell an verschiedenen  $x$ -,  $y$ -Positionen des Scanningtisches fokussiert und der ermittelte Höhenwert  $z$  mit der zugehörigen  $x$ -,  $y$ -Positionen gespeichert werden. Ist jedoch in der Abbildungsoptik bereits ein automatisches Fokussystem integriert, wie es bei den vollautomatisierten Inspektions- und Vermessungssystemen bei der Halbleiterfabrikation üblich ist, wird das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches vorzugsweise durch Fokussierung mit dem integrierten Fokussystem an mehreren  $x$ -,  $y$ -Positionen des Scanningtisches gewonnen. Hierbei wird entweder direkt auf die ebene Oberfläche des Scanningtisches fokussiert oder es wird auf ein auf den Scanningtisch gelegtes ebenes Substrat fokussiert. Solche Substrate können beispielsweise eine Glasplatte, ein Spiegel oder ein unstrukturierter blanker Wafer sein. Als Fokussysteme werden bevorzugt LED- oder Laser-Autofokussysteme eingesetzt.

[0016] Zur Kalibrierung des Scanningtisches können grundsätzlich beliebige  $x$ - $y$ -Positionen des Scanningtisches herangezogen werden. Vorteilhafterweise können die  $x$ - $y$ -Positionen in einer regelmäßigen Anordnung verteilt werden, zum Beispiel mit konstantem Abstand und zeilenweise im  $x$ - $y$ -Koordinatensystem des Scanningtisches. Diese besondere Verteilung ermöglicht ein zeitsparendes mäanderförmiges Scannen. Die Dichte der  $x$ - $y$ -Positionen für die Vermessung der Ablauffehler des Scanningtisches kann in Abhängigkeit von der Art und Größe des Scanningtisches oder von der geforderten Genauigkeit bei den Messaufgaben eingestellt werden.

[0017] Die  $x$ - $y$ -Positionen mit den zugehörigen Höhenwerten  $z$  können in üblichen Speichermedien wie zur magnetischen Aufzeichnung oder auf einer Kompaktdisk oder in elektronischen Speicherbausteinen gespeichert werden. Insbesondere ist hierfür eine Look-up-table geeignet, da sie einen schnellen Zugriff auf den Speicherinhalt und somit ein schnelles Abrufen der gespeicherten Werte ermöglicht.

[0018] Diese Werte werden beim Scannen von Proben verwendet, um die entsprechende Scharfeinstellung an den entsprechenden Probenpunkten zu erhalten. Hierbei wird eine Referenzhöhe  $z_{\text{ref}}$  der Probe berücksichtigt, die gegebenenfalls von Probe zu Probe unterschiedlich sein kann. Die Referenzhöhe  $z_{\text{ref}}$

ist entweder als Dicke der Probe bereits bekannt oder die Probendicke wird mechanisch oder durch optische Vermessung ermittelt oder es wird die Oberfläche der Probe als Bezugsebene bestimmt.

[0019] Ist die exakte Dicke der Probe bereits vorbekannt, kann natürlich auf eine anfängliche Messung der Probendicke oder Bestimmung der Bezugsebene der Probe verzichtet werden. Bei vorbekannter oder bei gemessener Dicke der Probe entspricht diese Dicke direkt der Referenzhöhe  $z_{ref}$ , wenn sich das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches auf die Oberfläche des Scanningtisches bezieht. Ist die Kalibrierung des Scanningtisches mit einem darauf liegenden ebenen Substrat erfolgt, so ist die Dicke des Substrats in Relation zur Probendicke zu setzen, um die Referenzhöhe  $z_{ref}$  zu ermitteln. Die Referenzhöhe  $z_{ref}$  ist Null, wenn die Dicke von Kalibrier-Substrat und Probe identisch ist. Auf die Referenzhöhe  $z_{ref}$  bezieht sich das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches, um die Proben-Höhenpositionen  $z_p$  an den Probenpunkten  $x_p, y_p$  zu ermitteln.

[0020] Für sehr genaue Messungen und um eine Sicherheit zu gewährleisten, empfiehlt sich eine Überprüfung einer jeden Probe durch explizites Bestimmen ihrer Dicke bzw. ihrer Bezugsebene. Die Bezugsebene wird durch eine Entfernungsmessung oder vorzugsweise durch Fokussieren ermittelt. Hierzu wird vor dem Beginn eines Probenscans mit einer neuen Probe mindestens ein beliebiger Ort auf der Probe angefahren und dort fokussiert, so dass ein Referenzkoordinatentripel  $x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}$  erhalten wird. Dieses Referenzkoordinatentripel  $x_{ref}, y_{ref}, z_{ref}$  ist der Bezugspunkt für das gespeicherte Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches. Natürlich können zur Verbesserung der Genauigkeit der Referenzhöhe  $z_{ref}$  mehrere Referenzorte  $x_{ref}, y_{ref}$  auf der Probe angefahren, dort jeweils fokussiert und beispielsweise durch Mittelung ein genauerer Bezug für das Ablauf-Höhenprofil ermittelt werden. Dadurch wird auch die Genauigkeit der daraus berechneten Proben-Höhenpositionen  $z_p$  an den Probenpunkten  $x_p, y_p$  verbessert.

[0021] Liegen die Probenpunkt  $x_p, y_p$  nicht auf einer Kalibrier-Position  $x, y$ , so kann aus den um den Probenpunkt  $x_p, y_p$  liegenden Kalibrierkoordinaten  $x, y, z$  durch Interpolation oder durch bekannte mathematische Näherungsfunktionen die Proben-Höhenposition  $z_p$  zu dem zwischen den Kalibrier-Positionen  $x, y$  liegenden Probenpunkt  $x_p, y_p$  bestimmt werden.

[0022] Im Falle einer Übereinstimmung aller Probenpunkte  $x_p, y_p$  mit den Kalibrier-Positionen  $x, y$ , kann der entsprechende Höhenwert  $z$  vorzugsweise direkt aus einer Look-up-table für die Bestimmung der Proben-Höhenposition  $z_p$  entnommen werden.

[0023] Während der Scanningtisch die Probenpunkte  $x_p, y_p$  anfährt wird die zugehörige Proben-Höhenposition  $z_p$  berechnet und eingestellt. Als Alternative zur Einzelberechnung vor jedem Anfahren eines Probenpunktes  $x_p, y_p$  können auch vorab alle Proben-Höhenpositionen  $z_p$  aus der Referenzhöhe  $z_{ref}$  und dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches berechnet

und abgespeichert werden. Beim Rastern der Probe können dann die Proben-Höhenpositionen  $z_p$  direkt abgerufen werden. Diese Alternative setzt natürlich voraus, dass bereits vor dem Rastern der Probe alle möglicherweise anzufahrenden Probenpunkte  $x_p, y_p$  bekannt sind. Dies ist bei vielen Anwendungen gegeben, insbesondere bei denen die Probe zeilenweise gescannt wird.

[0024] Grundsätzlich gibt es auch Systeme, die die Relativbewegung zwischen Probe und Abbildungssystem anstelle mit einem verfahrbaren Scanningtisch und ortsfester Abbildungsoptik auch umgekehrt mit verfahrbarer Abbildungsoptik bei feststehendem Probentisch realisieren. Das erfindungsgemäße Verfahren gilt natürlich auch für solche Systeme, da beim Verfahren der Abbildungsoptik zum Scannen der Probe in gleicher Art und Weise Abblaufehler auftreten wie es bei einem Scanningtisch der Fall ist.

[0025] An den Probenpunkten  $x_p, y_p$  werden bestimmte Untersuchungen an der Probe vorgenommen. Dies sind in der Regel Bildaufnahmen von der Probe oder/und optische Messungen an der Probe. Soll bei Bildaufnahmen die vollständige Probe erfasst werden, so werden das Bildfeld der Kamera und die Abstände der Probenpunkte  $x_p, y_p$ , also die Dichte der Probenpunkte  $x_p, y_p$  derart gewählt, dass sich beim Aneinanderreihen der Bilder von allen Probenpunkten  $x_p, y_p$  eine Bildaufnahme der gesamten Probe ergibt. Die absolute Größe des Bildfeldes hängt von der Vergrößerung des optischen Abbildungssystems ab.

[0026] Bei den Bildaufnahmen handelt es sich in den meisten Fällen um Aufnahmen im sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichtes. Es sind aber genauso gut Aufnahmen im infraroten oder UV-Bereich oder sogar im Röntgenbereich möglich. Die Bildaufnahmen werden ausgewertet um z.B. Defekte oder Verunreinigungen auf den Probenoberflächen insbesondere von Halbleiterwafern zu erkennen, zu analysieren und zu klassifizieren.

[0027] Hinsichtlich von optischen Messungen an den Probenpunkten  $x_p, y_p$  wird im allgemeinen die Probe mit Licht bestrahlt und das von den Probenpunkten  $x_p, y_p$  kommende Licht, also z.B. das an der Oberfläche der Probe reflektierte Licht oder auch Fluoreszenzlicht vom optischen Abbildungssystem aufgenommen. Durch Messeinrichtungen können dann die Intensität oder die spektrale Verteilung des aufgenommenen Lichtes ermittelt werden, um daraus auf Materialeigenschaften oder auf Oberflächenbeschaffenheiten der Probe zu schließen. Häufig werden mit einem Spektralphotometer oder Ellipsometer optische Eigenschaften wie Brechungsindex, Absorptionseigenschaften oder die Dicken von Schichten, die auf der Probe aufgebracht sind, ermittelt. Durch Rastern der Probe können die Messdaten von bestimmten Teilen oder systematisch von der gesamten Probe erfasst werden.

[0028] Als optisches Abbildungssystem wird insbesondere ein Mikroskop oder ein Makroskop an-ge-

hen. Mit dem Mikroskop werden kleine Flächen und kleine Strukturen auf der Probe vergrößert. Ein Makroskop dient der Vergrößerung und Untersuchung von relativ groben Strukturen und wird beispielsweise in der Kriminalistik eingesetzt.

#### Ausführungsbeispiel

[0029] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die Zeichnung zeigt schematisch in:

[0030] **Fig. 1** eine Anordnung mit Scanningtisch und optischem und elektronischem System,

[0031] **Fig. 2** Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  in einer regelmäßigen Anordnung und

[0032] **Fig. 3** ein Ablauf-Höhenprofil eines Scanningtisches.

[0033] Die **Fig. 1** zeigt eine Anordnung mit einem Scanningtisch 2, einer Elektronikeinrichtung 11 und einer Optikanordnung 7. Eine auf dem Scanningtisch liegende Probe 1 soll an verschiedenen Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  mit Hilfe der Optikanordnung 7 untersucht werden. Die Optikanordnung 7 besteht aus einem optischen Abbildungssystem 3 und optional einer Kamera 4 oder/und einer Messeinrichtung 5 oder/und einem Fokussystem 6. Zur Steuerung der Optikanordnung 7 und des Scanningtisches 2 ist die Elektronikeinrichtung 11 vorgesehen. Diese beinhaltet eine Recheneinheit 8, eine Steuereinheit 9 und einen Speicher 10.

[0034] Die Elektronikeinrichtung 11 kann als externes Gerät ausgebildet oder in der Optikanordnung 7, im Scanningtisch 2 oder in einem PC integriert sein. Selbstverständlich können die einzelnen Baugruppen der Elektronikeinrichtung 11 auch verteilt sein und z.B. die Recheneinheit 8 und der Speicher 10 in der Optikanordnung 7 und die Steuereinheit 9 im Scanningtisch 2 integriert sein. Als Recheneinheit 8 und Speicher 10 kann aber auch ein externer PC dienen und die Steuereinheit 9 separat aufgebaut sein.

[0035] In einem ersten erfindungsgemäßen Schritt erfolgt eine Kalibrierung des Scanningtisches 2 hinsichtlich seiner Ablauffehler. Hierzu wird der Scanningtisch 2 in  $x$ - und  $y$ -Richtung verfahren. Aufgrund seines Gewichts und seiner Lagerung in Führungselementen kommt es beim Verfahren des Scanningtisches 2 zu Höhenschwankungen und Neigungen der Scanningtisch-Oberfläche, auf der die Proben 1 aufgelegt werden. Diese Unregelmäßigkeiten und Schwankungen des Scanningtisches in  $z$ -Richtung sind beim Beobachten der Probe 1 mit dem optischen Abbildungssystem erkennbar und stören beim Aufnehmen von Bildern mit der Kamera 4 oder führen zu Ungenauigkeiten beim Messen mit der Messeinrichtung 5. Normalerweise wird deswegen an jedem Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  fokussiert bevor eine Bildaufnahme oder eine Messung erfolgt. Gemäß der Erfindung wird jedoch eine Fokussierung am Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  nicht durchgeführt, sondern die Ablauffehler des Scanningtisches 2 werden beim Anfahren des Pro-

benpunktes  $x_p$ ,  $y_p$  bereits berücksichtigt.

[0036] Hierzu müssen die Ablauffehler des Scanningtisches 2 natürlich bekannt sein. Sie werden aus einer Kalibrierung des Scanningtisches 2 ermittelt. Die Kalibrierung erfolgt an mehreren Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$ . Dort werden die zugehörigen  $z$ -Korrekturwerte ermittelt, um die der Scanningtisch in  $z$ -Richtung nachgefahren werden muss, damit die absolute  $z$ -Höhe des Scanningtisches und somit sein Abstand zum Abbildungssystem 3 konstant bleibt. Diese  $z$ -Korrekturwerte können durch mechanische oder optische Abtastung des Scanningtisches 2 an einer Vielzahl von Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  gewonnen werden. Optische Abtastungen können beispielsweise mit einem externen, in der **Fig. 1** nicht dargestellten Laserstrahl vorgenommen werden, der die Neigungs- und die Höhenänderungen des Scanningtisches 2 an den Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  misst. Gegebenenfalls kann der Laserstrahl auch durch das optische Abbildungssystem 3 geführt und dessen von der Probe reflektiertes Licht mit einem in der Messeinrichtung 5 vorhandenen Laser-Entfernungsmesser gemessen werden. Die Entfernungen zwischen dem Laser-Entfernungsmesser und den jeweiligen Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  ergeben ein Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches 2.

[0037] Eine andere optische Abtastung beinhaltet eine Bildverarbeitung der mit der Kamera 4 aufgenommenen Bilder nach dem Prinzip eines TV-Autofokus. Hierbei wird an jeder Kalibrier-Position  $x$ ,  $y$  der Scanningtisch 2 in  $z$ -Richtung verfahren und es werden an verschiedenen  $z$ -Positionen Bilder aufgenommen. Aus diesem Bilderstapel wird durch bestimmte Kriterien, z.B. durch eine Kontrastfunktion, ein geeignetes Bild ermittelt und dessen zugehörige  $z$ -Position ist der gesuchte Höhenwert  $z$  für die Kalibrier-Position  $x$ ,  $y$ . Auf diese Art und Weise ergibt sich das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches 2.

[0038] Für die Bildverarbeitung kann entweder die Oberfläche einer Probe 1 abgebildet werden, die im wesentlichen ebene Strukturen aufweist. Alternativ kann ein auf eine insbesondere unstrukturierte Oberfläche einer Probe 1 projiziertes Bild oder ein direkt auf die ebene Oberfläche des Scanningtisches 2 projiziertes Bild abgebildet werden. In dem projizierten Bild können entsprechende Kontraste durch dunkle und benachbart sehr helle Bereiche für eine optimale Bildverarbeitung vorgegeben werden.

[0039] Eine weitere Möglichkeit einer optischen Abtastung zur Ermittlung der Ablauffehler des Scanningtisches 2 in  $z$ -Richtung ist das Fokussieren mit dem Fokussystem 6 an den Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$ . Hierbei wird der Scanningtisch 2 jeweils an eine Kalibrier-Position  $x$ ,  $y$  gefahren, dort angehalten und auf die Oberfläche des Scanningtisches 2 fokussiert. Der sich durch das Fokussieren ergebende Höhenwert  $z$  wird mit der zugehörigen Kalibrier-Position  $x$ ,  $y$  gespeichert. Dadurch ist das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches 2 ermittelt.

[0040] Das Fokussystem 6 ist vorzugsweise ein

LED- oder Laser-Autofokussystem. Anstelle direkt auf die Oberfläche des Scanningtisches 2 zu fokussieren kann auch auf ein geeignetes, ebenes Substrat mit konstanter Dicke, z.B. einen blanken Wafer fokussiert werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, wenn die später zu untersuchenden Proben 1 selbst Wafer sind.

[0041] Die Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  können grundsätzlich beliebig innerhalb der  $x$ - und  $y$ -Verfahrbereiche des Scanningtisches 2 gewählt werden. Sie können bei der Kalibrierung auch beliebig angefahren werden. Üblicherweise wird die Anordnung der Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  zeilenförmig gewählt, wie es die Fig. 2 zeigt. In einem solchen Fall werden die Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  mäanderförmig für die Kalibrierung gerastert. Zudem ist es von Vorteil, wenn der gesamte Verfahrbereich des Scanningtisches 2 oder zumindest der Verfahrbereich für die Probe 1 für die Kalibrierung erfasst wird. Die Dichte der Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  kann entsprechend den Eigenschaften des Scanningtisches gewählt werden, so dass ein ausreichend genaues Ablauf-Höhenprofil erstellt werden kann.

[0042] Die oben beispielhaft genannten Methoden und Möglichkeiten ergeben also ein Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches 2. In Fig. 3 ist ein Beispiel eines gemessenen Ablauf-Höhenprofils dargestellt. Es sind die ermittelten Höhenwerte  $z$  gegen die zugehörigen Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  aufgetragen. Das Ablauf-Höhenprofil wird im Speicher 10 gespeichert. Der Scanningtisch 2 ist in seinen Verfah- oder Ablaufeigenschaften somit erfasst und seine Kalibrierung ist abgeschlossen.

[0043] Die Kalibrierung des Scanningtisches 2 erfolgt zumindest einmalig beim Aufbau der in Fig. 1 gezeigten Anordnung. Zu einem späteren Zeitpunkt kann die Kalibrierung des Scanningtisches 2 gegebenenfalls wiederholt werden. Insbesondere bei sehr intensivem Einsatz ist es vorteilhaft, den Scanningtisch 2 erneut zu kalibrieren, da durch das Verfahren des Scanningtisches 2 ein mechanischer Verschleiß eintritt und sich die Führungselemente und dadurch die Abtastfehler des Scanningtisches 2 verändern können.

[0044] Mit Hilfe der Kalibrierung können nun verschiedene Proben 1 an beliebigen Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  untersucht werden. Während der Scanningtisch 2 zu einem Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  fährt, wird die entsprechende Proben-Höhenposition  $z_p$  bereits eingestellt. Die Einstellung der Proben-Höhenposition  $z_p$  ist spätestens bei Erreichen des Probenpunktes  $x_p$ ,  $y_p$  erfolgt.

[0045] Die Proben-Höhenposition  $z_p$  bestimmt sich mit Hilfe der Kalibrierung, also mittels des Ablauf-Höhenprofils des Scanningtisches 2. Das Ablauf-Höhenprofil stützt sich dabei auf eine probenspezifische Referenzhöhe  $z_{ref}$  an einem Referenzort  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$  der Probe 1. Ist beispielsweise die Dicke des Substrates, mit dem die Kalibrierung des Scanningtisches 2 erfolgt ist, identisch mit der Dicke der zu untersuchen-

den Probe 1, so ist die Referenzhöhe  $z_{ref}$  Null und die Kalibrierwerte aus dem Ablauf-Höhenprofil können direkt ohne weitere Umrechnung verwendet werden. Sind die Dicken der Proben 1 verschieden, aber bekannt, so werden diese entsprechend berücksichtigt und die Differenzen zu der Substratdicke jeweils addiert, um die Referenzhöhe  $z_{ref}$  zu erhalten. Mit dieser Referenzhöhe  $z_{ref}$  wird das Ablauf-Höhenprofil entsprechend korrigiert.

[0046] Die Referenzhöhen  $z_{ref}$  werden vorzugsweise experimentell für jede neue Probe 1 durch eine Messung bestimmt, z. B. durch Fokussieren mit dem Fokussystem 6 an einem Referenzort  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$ . Dies erhöht die Sicherheit und verbessert die Genauigkeit. Hierbei kann jeder beliebiger Referenzort  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$  der Probe ausgewählt werden. Gegebenenfalls können auch mehrere Referenzhöhen  $z_{ref}$  an verschiedenen Referenzorten  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$  gemessen werden, wenn eine noch höhere Genauigkeit benötigt wird.

[0047] Aus der bekannten oder experimentell bestimmten Referenzhöhe  $z_{ref}$  und dem Ablauf-Höhenprofil wird die Proben-Höhenposition  $z_p$  für den anzufahrenden Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  berechnet. Diese Berechnung erfolgt entweder erst während des Anfahrens eines Probenpunktes  $x_p$ ,  $y_p$  oder bereits vorab nach Ermittlung der Referenzhöhe  $z_{ref}$ , um ein korrigiertes Ablauf-Höhenprofil zu erhalten. Stimmen die Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  mit den Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  überein, so sind die einzustellenden Proben-Höhenpositionen  $z_p$  bereits bestimmt, andernfalls werden sie aus den um einen Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  liegenden Kalibrier-Positionen  $x$ ,  $y$  z.B. durch Interpolation ermittelt.

[0048] An den Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$  werden Untersuchungen der Probe durchgeführt, insbesondere werden Bilder mit der Kamera 4 oder mit einem Bildsensor 4 aufgenommen oder optische Messungen mit einer Messeinrichtung 5 vorgenommen. Diese Untersuchungen führen insbesondere bei einer Vielzahl von Probenpunkten  $x_p$ ,  $y_p$ , bei der die Probe also gerastert wird, durch das erfindungsgemäße Verfahren zu einer großen Zeitersparnis. Diese kann durch Bildaufnahmen oder Messungen „on-the-fly“, bei denen der Scanningtisch ohne anzuhalten über die Probenpunkte  $x_p$ ,  $y_p$  fährt, noch gesteigert werden.

[0049] In einem speziellen Ausführungsbeispiel, bei dem die Probe 1 zeilenweise in  $x$ -Richtung gescannt und an jedem Probenpunkt  $x_p$ ,  $y_p$  ein Bild aufgenommen werden soll, läuft ein Scan-Ablauf im Detail folgendermaßen ab. Nach Auflegen der Probe 1 auf den Scanningtisch 2 wird dieser zunächst an einen beliebigen Ort auf der Probe 1 gefahren. Dieser Ort wird als Referenzort  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$  bezeichnet. Durch Fokussieren mit dem Fokussystem 6 auf den Referenzort  $x_{ref}$ ,  $y_{ref}$  ist die Referenzhöhe  $z_{ref}$  bestimmt. Bei der Fokussierung wird der Scanningtisch 2 in  $z$ -Richtung mit Hilfe eines  $z$ -Triebverfahren, so dass im fokussierten Zustand die  $z$ -Position des Scanningtisches 2 der Referenzhöhe  $z_{ref}$  entspricht. Entspre-

chendes gilt für alternative Fokussiermethoden, bei denen das optische Abbildungssystem 3 verändert wird.

[0050] Am Anfang der ersten Scanzeile erhält die Steuereinheit 9 die Koordinaten-Information von der Recheneinheit 8 über die anzufahrenden Probenpunkte  $x_p, y_p$  in dieser Scan-Zeile. Für diese Probenpunkte  $x_p, y_p$  werden die Proben-Höhenpositionen  $z_p$  berechnet mit Hilfe der Referenzhöhe  $z_{ref}$ , am Referenzort  $x_{ref}, y_{ref}$  und des Ablaufhöhenprofils des Scanningtisches 2. Die Steuereinheit 9 bringt den Scanningtisch 2 in die Proben-Höhenposition  $z_p$  des ersten Probenpunktes  $x_p, y_p$ . Der Tischablauf wird gestartet. Sowie der Scanningtisch 2 über den ersten Probenpunkt  $x_p, y_p$  fährt, wird mit der Kamera 4 ein Bild aufgenommen und der Scanningtisch 2 beginnt gleichzeitig, die Proben-Höhenposition  $z_p$  des nächsten Probenpunktes  $x_p, y_p$  anzufahren. Zur Bildaufnahme wird die Kamera 4 durch ein Triggersignal, einen Hardware-Trigger, ausgelöst. Die Triggersignale sind entweder elektrische Signale oder optische Signale (z.B. über Lichtleiter). Dieser Hardware-Trigger dient zugleich als Signal für den z-Trieb des Scanningtisches 2 zum Anfahren der nächsten Höhenposition  $z_p$ . Der Scanningtisch 2 wird bei den Bildaufnahmen an den Probenpunkten  $x_p, y_p$  nicht angehalten, sondern fährt mit konstanter Geschwindigkeit über die gesamte Scan-Zeile.

[0051] Am Ende der ersten Scan-Zeile erhält die Steuereinheit 9 die Koordinaten-Information von der Recheneinheit 8 über die anzufahrenden Probenpunkte  $x_p, y_p$  der zweiten Scan-Zeile. Es werden wiederum die zugehörigen Proben-Höhenpositionen  $z_p$  berechnet und der Scanningtisch 2 fährt vom Ende zum Anfang der zweiten Scan-Zeile. Auf diese Art und Weise wird die gesamte Probe 1 gerastert und die aufgenommenen Bilder für die Auswertung weiter bearbeitet. Die Bildauswertung kann bei einem Halbleiter-Wafer als Probe 1 zur Detektion von Defekten auf dem gesamten Wafer und zur Klassifikation der Fehler herangezogen werden.

## Bezugszeichenliste

1	Probe
2	Scanningtisch
3	optisches Abbildungssystem
4	Kamera oder Bildsensor
5	Messeinrichtung
6	Fokussystem
7	Optikanordnung
8	Recheneinheit
9	Steuereinheit
10	Speicher
11	Elektronikeinrichtung
x, y	Kalibrier-Position
z	Höhenwert
$x_{ref}, y_{ref}$	Referenzort
$z_{ref}$	Referenzhöhe
$x_p, y_p$	Probenpunkt
$z_p$	Proben-Höhenposition

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Rastern von Proben (1) mit einem optischen Abbildungssystem (3) und einem Scanningtisch (2), wobei an Probenpunkten  $x_p, y_p$  Bildaufnahmen mittels einer Kamera (4) von der Probe (1) oder/und Messungen mittels einer optischen Messeinrichtung (5) an der Probe (1) vorgenommen werden, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

- Kalibrieren des Scanningtisches (2) durch Gewinnen und Speichern von Höhenwerten  $z$  an verschiedenen Kalibrier-Positionen  $x, y$  des Scanningtisches (2) und dadurch Erzeugen eines Ablauf-Höhenprofils des Scanningtisches (2)
- Rastern von Proben (1) mit jeweils
- Bestimmen einer Referenzhöhe  $z_{ref}$  der Probe (1) zu Beginn eines Probenscans,
- Anfahren der Probenpunkte  $x_p, y_p$  mit dem Scanningtisch (2)
- Einstellen einer zum jeweiligen Probenpunkt  $x_p, y_p$  gehörenden Proben-Höhenposition  $z_p$  während des Anfahrens des Probenpunktes  $x_p, y_p$ , wobei die Proben-Höhenposition  $z_p$  aus der Referenzhöhe  $z_{ref}$  und dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) ermittelt wird und
- Aufnehmen eines Bildes oder/und Durchführen einer Messung am Probenpunkt  $x_p, y_p$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzhöhe  $z_{ref}$  der Probe (1) zu Beginn des Probenscans durch Fokussieren mit einem Fokussystem (6) an einem Referenzort  $x_{ref}, y_{ref}$  der Probe (1) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beim Kalibrieren des Scanningtisches (2) die Höhenwerte  $z$  durch Fokussieren mit einem Fokussystem (6) gewonnen werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden



Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beim Proben-Scan das Bild oder/und die Messung ohne Anhalten des Scanningtisches (2) am Probenpunkt  $x_p, y_p$  aufgenommen werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei zeilenförmig angeordneten Probenpunkten  $x_p, y_p$  die Probenpunkte  $x_p, y_p$  mäanderförmig gescannt werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die an den Kalibrier-Positionen  $x, y$  ermittelten Höhenwerte  $z$  in eine Look-up-table gespeichert werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Proben-Höhenposition  $z_p$  am Probenpunkt  $x_p, y_p$  durch Interpolation oder mathematische Näherungsfunktionen aus dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) ermittelt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei Übereinstimmung von Kalibrier-Positionen  $x, y$  und Probenpunkten  $x_p, y_p$  die Proben-Höhenposition  $z_p$  aus dem entsprechenden Höhenwert  $z$  aus der Look-up-table und der Referenzhöhe  $z_{ref}$  bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Kalibrieren des Scanningtisches (2) ein ebenes Substrat auf den Scanningtisch (2) gelegt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Fokussystem (6) ein LED- oder Laser-Autofokussystem und als optischen Abbildungssystem (3) ein Mikroskop oder Makroskop verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bildfeld der Kamera (4) und die Abstände der Probenpunkte  $x_p, y_p$  derart gewählt werden, dass sich beim Aneinanderreihen der Bilder aller Probenpunkte  $x_p, y_p$  eine Aufnahme der gesamten Probe (1) ergibt.

12. Vorrichtung zum Rastern von Proben (1) mit einem optischen Abbildungssystem (3) und mit einem Scanningtisch (2), gekennzeichnet durch

- eine Steuereinheit (9) zum Verfahren des Scanningtisches (2)
- zu Kalibrier-Positionen  $x, y$  während einer Kalibrierung des Scanningtisches (2) zur Gewinnung eines Ablauf-Höhenprofils des Scanningtisches (2),
- zu Probenpunkten  $x_p, y_p$  während des Rasterns der Proben (1) und
- zum Einstellen von Proben-Höhenpositionen  $z_p$  an den Probenpunkten  $x_p, y_p$ ,

– einen Speicher (10) zum Speichern des Ablauf-Höhenprofils des Scanningtisches (2) aus der Kalibrierung,

– eine Recheneinheit (8) zum Ermitteln der Proben-Höhenposition  $z_p$  an den jeweiligen Probenpunkten  $x_p, y_p$  aus einer Referenzhöhe  $z_{ref}$  der Probe (1) und dem Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) und

– eine Kamera (4) zum Aufnehmen von Bildern an den Probenpunkten  $x_p, y_p$  oder/und eine optische Messeinrichtung (5) zur Durchführung einer Messung an den Probenpunkten  $x_p, y_p$ .

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Fokussystem (6) zumindest zum Fokussieren auf mindestens einen Referenzort  $x_{ref}, y_{ref}$  zur Gewinnung eines Referenzhöhenwertes  $z_{ref}$  vorgesehen ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Ablauf-Höhenprofil des Scanningtisches (2) mit Hilfe eines Fokussystems (6) ermittelbar ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12–14, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Abbildungssystem (3) ein Mikroskop oder ein Makroskop ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12–15, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinrichtung (5) ein optisches Spektrometer, ein Ellipsometer oder ein Schichtdicken-Messsystem ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

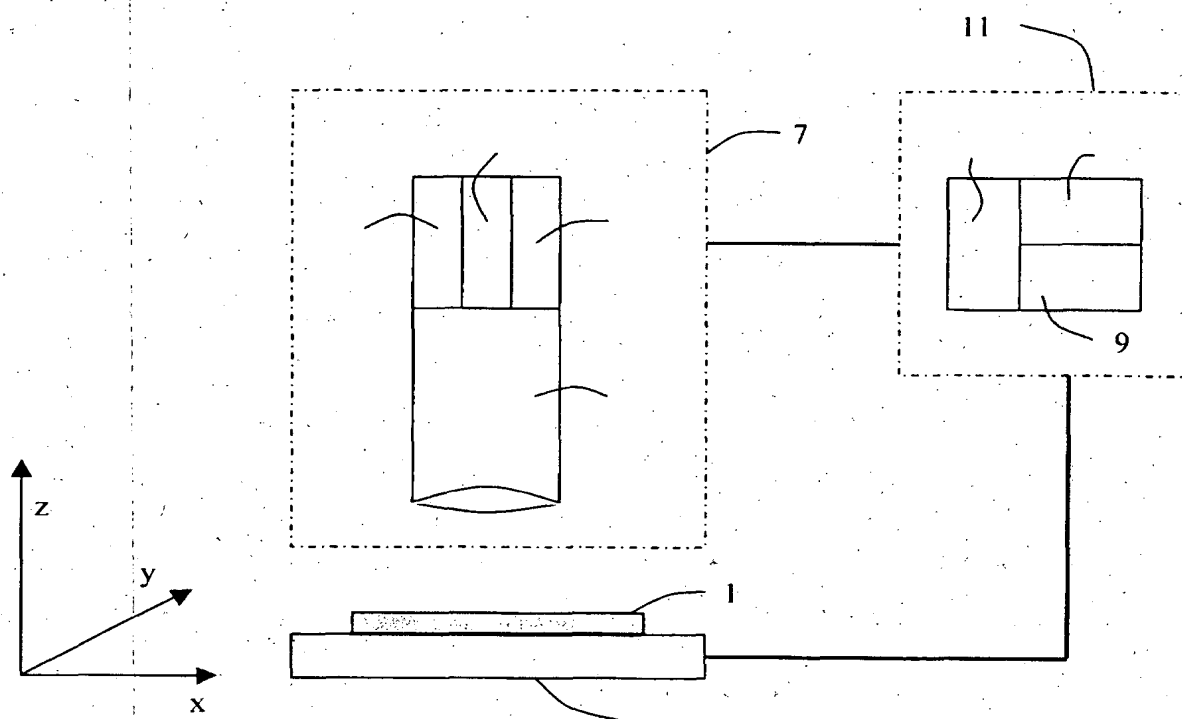


Fig. 1

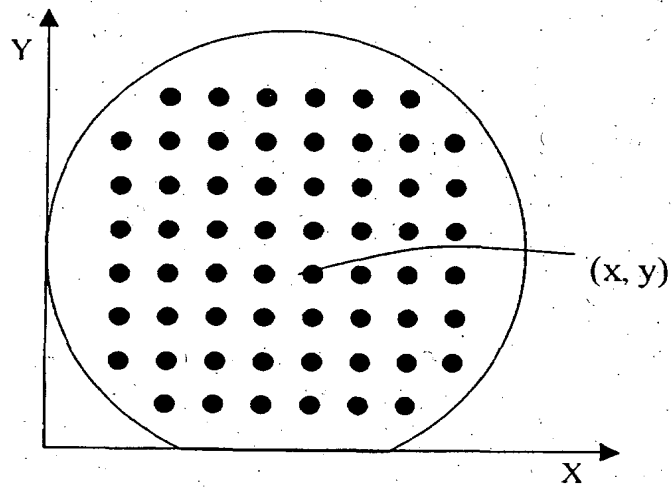


Fig. 2

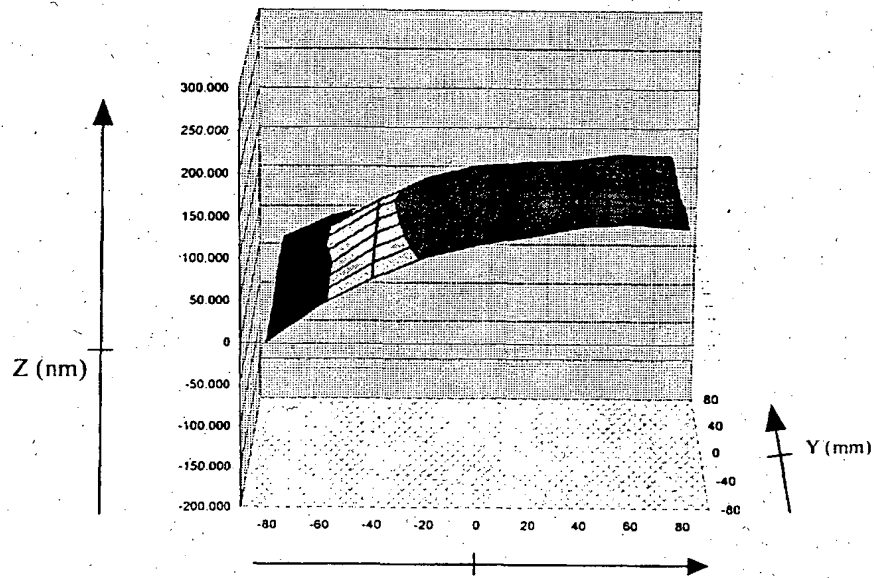


Fig. 3